铁对 1～4 周龄五龙鹅生产性能、造血功能和铁代谢的影响

王宝维　马传兴　葛文华　张名爱　孔　敏　张　肖　隋　丽

（青岛农业大学优质水禽研究所，国家水禽产业技术体系营养与饲料功能研究室，青岛 266109)

摘　要：本试验旨在研究饲粮铁添加水平对1～4周龄五龙鹅生产性能、造血功能和铁代谢的影响，以确定鹅饲粮铁的适宜添加水平。试验选用1日龄五龙鹅360只，随机分为6个组，每个组6个重复，每个重复10只。Ⅰ组为对照组，饲喂基础饲粮，Ⅱ～Ⅴ组分别饲喂在基础饲粮中分别添加40、80、120、160、200 mg/kg铁的试验饲粮。试验期4周。结果表明，与对照组相比：1）饲粮中添加80~120 mg/kg铁能显著或极显著增加五龙鹅的体重和平均日增重（P<0.05或P<0.01），显著降低料重比（P<0.05）；2）饲粮中添加80~120 mg/kg铁显著提高了鹅的屠宰率、半净膛率和腿肌率（P<0.05）；3）饲粮中添加80 mg/kg铁显著提高了鹅血液的平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量（P<0.05），饲粮中添加80~200 mg/kg铁显著提高了鹅血液的红细胞数和血红蛋白浓度（P<0.05），饲粮中添加120~200 mg/kg铁显著或极显著提高了鹅血液的红细胞压积（P<0.05或P<0.01）；4）饲粮中添加160~200 mg/kg铁显著降低了鹅血清中总铁结合力（P<0.05），显著提高鹅血清中转铁蛋白饱和度（P<0.05）；饲粮中添加120 mg/kg铁显著降低了鹅血清中尿素氮和肌酐含量（P<0.05），饲粮中添加80 mg/kg铁显著降低了鹅血清中尿酸含量（P<0.05）。由此可见，以最佳生长性能为目标，建议1~4周龄五龙鹅饲粮中铁的适宜添加水平为99.56~116.91 mg/kg。

关键词：铁；鹅；生产性能；造血功能；铁代谢

中图分类号：S835

人类对铁的生物学功能研究已有数百年的历史，铁作为动物的必需微量元素，以多种形式参与生命活动中新陈代谢，包括功能蛋白和含铁酶，如细胞色素氧化酶、过氧化氢酶、黄嘌呤氧化酶等，在机体的正常生长发育中发挥重要作用[1-3]。动物缺铁所致的损害也主要集中在红血细胞的体积、形状和结构上，最终导致缺铁性贫血症。铁过量主要以诱导氧化对机体造成损伤[4-5]。如今我国对鸡、猪、瘦肉型猪等都形成了完整的饲养标准，肉鸭的饲养标准也在2012年制定完成，商品代北京鸭对铁的营养需要量为60 mg/kg。国内外对鹅的铁需要量研究报道较少，而国外鹅的建议添加量差别较大。澳大利亚建议鹅铁的营养需要量为96 mg/kg；美国NRC（1994）建议肉鹅铁的营养需要量为40 mg/kg，种鹅为80 mg/kg；法国朗德鹅建议铁的营养需要量为80 mg/kg；前苏联全苏畜牧研究所（1985年）建议鹅铁的营养需要量为10 mg/kg。我国鹅的营养需要研究起步较晚，至今没有制定鹅的饲养标准，一些地方鹅品种（如辽宁昌图鹅）尽管也提出了营养需要量标准，但是缺乏试验数据做支撑，多数是

收稿日期：2015-12-09

基金项目：国家水禽产业技术体系专项基金（CARS-43-11）；山东省良种工程（12-1-3-17-nsh）

作者简介：王宝维（１９５９—），男，山东荣成人，教授，硕士生导师，研究方向为动物营养与保健。E-mail: wangbw@qau.edu.cn

参考鸡的资料[6]。因此，鹅铁的营养需要量研究有待于进一步通过饲养试验进行科学确定。因此，本试验通过在饲粮中添加不同水平的铁，探讨铁对五龙鹅的生产性能、造血功能和铁代谢的影响，为完善我国鹅营养需要量数据库、优化鹅饲料添加剂配方、更好的指导养鹅生产提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物与设计

选择1日龄健康五龙鹅（豁眼鹅）360只，采用随机分配编号法，随机分为6组，每组6个重复，每个重复10只(公母各占1/2)。Ⅰ组为对照组，饲喂基础饲粮，Ⅱ～Ⅵ组分别饲喂在基础饲粮中分别添加40、80、120、160、200 mg/kg铁的试验饲粮。试验期4周。试验鹅由国家水禽产业技术体系育种基地高密市银河润雁鹅业有限公司提供。试验用铁源为七水硫酸亚铁($FeSO_4·7H_2O$)，购自青岛普兴生物科技有限公司(其有效成分为91.4%)。

1.2　试验饲粮

基础饲粮营养水平参照NRC(1994)家禽营养需要量设计配方。基础饲粮组成及营养水平见表1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
玉米 Corn	60.00	代谢能 ME/（MJ/kg）	11.76
豆粕 Soybean meal	28.40	粗蛋白质 CP	18.92
鱼粉 Fish meal	5.00	钙 Ca	0.74
次粉 Wheat middling	2.00	有效磷 AP	0.33
玉米秸秆 Corn straw	2.00	赖氨酸 Lys	1.02
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.84	蛋氨酸 Met	0.31
石粉 Limestone	0.96	胱氨酸 Cys	0.31
食盐 NaCl	0.30	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.62
微量元素预混料 Trace mineral premix1)	0.30	铁 Fe/(mg/kg)2)	89.93
维生素预混料 Vitamin premix1)	0.20		
合计 Total	100.00		

1) 微量元素预混料和维生素预混料为每千克饲粮添加量 The trace mineral premix and vitamin premix provided the following per kg of diet:VA 1 500 IU，VD_3 200 IU，VE 12.5 mg，VK_3 1.5 mg，VB_2 5.0 mg，烟酸 nicotinic acid 65 mg，泛酸 pantothenate 15 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Cu 6 mg，Mn 85 mg，Zn 85 mg，I 0.42 mg，Se 0.3 mg，Co 2.5 mg。

2) 铁为实测值，其他营养水平为计算值。Fe was a measured value, while the other nutrient levels were calculated values.

1.3　饲养管理

试验前对鹅舍进行全面消毒；全期采取舍饲，网上分栏饲养；试验鹅自由饮水和采食，

少添勤喂；注意观察鹅群的生长状况。

1.4　测定指标及方法

1.4.1　生长性能指标

4周龄末，分别对试验鹅进行空腹称重，计算1～4周龄的平均日增重(ADG)；每日统计饲料消耗量，计算平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)。每天记录各组死亡及淘汰情况，计算死淘率。

1.4.2　屠宰性能指标

4周龄末，从每重复中分别抽取2只（公母各占1/2）体重接近该组平均体重的试验鹅，每组6只，总共72只进行屠宰，宰前禁食12 h，按照《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》（NY/T 823—2004）测定屠体重、半净膛重、全净膛重、腹脂重、胸肌重和腿肌重，并计算屠宰率、全净膛率、半净膛率、腹脂率、腿肌率和胸肌率6项屠宰性能指标。

1.4.3　血液指标和血清生化性能指标

4 周龄时，从每重复中分别抽取 2 只（公母各占 1/2）体重接近该组平均体重的试验鹅，每组 6 只，总共 72 只。称重后采用含肝素钠抗凝的采血管及不锈钢采血针进行心脏穿刺采血，一部分全血 4 ℃保存，采用全自动生化分析仪（日立 7600-020）测其中的红细胞浓度、血红蛋白浓度、红细胞压积；另一部分 3 000 r/min 离心得血浆后，于-20 ℃保存，用于测定铁蛋白、总铁结合力、转铁蛋白饱和度和不饱和铁结合力、尿素、肌酐和尿酸。

1.5　统计分析

采用SPSS 17.0软件中单因素方差分析(one-way ANOVA)中的LSD法进行多重比较。试验数据以“平均值±标准差”表示。用不相关比较法(orthogonal)分析各指标随饲粮中铁添加水平的线性或曲线反应，采用曲线拟合法，以确定1～4周龄鹅饲粮中铁的适宜添加水平。并进行生长性能和营养物质利用率之间的相关性分析。P<0.05和P<0.01分别为差异显著和极显著水平。

2　结果与分析

2.1　饲粮铁添加水平对鹅生长性能的影响

由表 2 可知，1~4 周龄，III、IV组体重显著高于对照组(P<0.05)；IV组平均日增重极显著高于对照组(P<0.01)，II、III、IV组平均日增重显著高于对照组(P<0.05)；III、IV组料重比显著低于对照组(P<0.05)。III和IV组体重、平均日增重最高，料重比最低，且 2 组之间没有显著差异（P>0.05）。各组平均日采食量和死淘率没有显著差异(P<0.05)。以上结果表明，铁添加组体重、平均日增重、料重比均优于对照组。

通过对体重（Y_1）、料重比（Y_2）与饲粮铁添加水平（X）进行曲线拟合，得到如下曲线方程：

Y_1=1.045+0.005X-2.511E-5X^2 （R^2=788，P_Q=0.098）；

Y_2=2.299-0.003X+1.283E-5X^2 （R^2=0.804，P_Q=0.086）。

由上述曲线回归方程得出，饲粮铁添加水平为 99.56 mg/kg 时体重最大，添加水平为 116.91 mg/kg 时料重比最佳。

表 2　铁对 1~4 周龄鹅生长性能的影响

Table 2　Effects of Fe on growth performance of geese aged from 1 to 4 weeks

组别 Groups	体重 WB/kg	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死淘率 Mortality rate/%
Ⅰ	1.08±0.03[b]	38.09±0.12[c]	88.36±1.24	2.32±0.04[a]	1.67
Ⅱ	1.13±0.03[b]	39.45±0.23[b]	85.86±2.49	2.18±0.06[ab]	0
Ⅲ	1.35±0.13[a]	39.69±0.38[ab]	85.89±3.21	2.16±0.06[b]	3.33
Ⅳ	1.38±0.10[a]	40.13±0.11[a]	86.95±2.90	2.16±0.07[b]	1.67
Ⅴ	1.20±0.05[b]	39.43±0.66[b]	88.35±5.22	2.24±0.11[ab]	0
Ⅵ	1.12±0.03[b]	38.61 ±0.42[c]	87.11±3.57	2.25±0.11[ab]	0
P 值 P-value	0.001	0.000	0.883	0.189	

同列数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著(P>0.05)，相邻小写字母表示差异显著(P<0.05)，相间小写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same column，values with the same small or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05)，while with adjacent small letter superscripts mean significant difference (P<0.05)，and with alternate small letter superscripts mean significant difference (P<0.01).　The same as below.

2.2　饲粮铁添加水平对鹅屠宰性能的影响

由表 3 可知，1~4 周龄，五龙鹅的屠宰率、半净膛率、全净膛率都随着饲粮铁添加水平的增加而呈先增加后降低的趋势。III、IV组屠宰率、半净膛率和腿肌率显著高于对照组(P<0.05)，III组全净膛率显著高于对照组(P<0.05)；各组腹脂率和胸肌率没有显著差异(P>0.05)。

以上结果表明，饲粮添加铁水平为 80~120 mg/kg 时，显著提高了鹅的屠宰率、半净膛率和腿肌率，对腹脂率和胸肌率没有显著的影响。

表 3　铁对 1~4 周龄鹅屠宰性能的影响

Table 3　Effects of Fe on slaughter performance of geese aged from 1 to 4 weeks　　%

组别 Groups	屠宰率 Dressed percentage	半净膛率 Percentage of half-eviscerated yield	全净膛率 Percentage of eviscerated yield	腹脂率 Percentage of abdominal	胸肌率 Percentage of breast muscle	腿肌率 Percentag of leg muscle
Ⅰ	85.49±1.02[b]	75.76±0.52[b]	63.34±1.31[b]	1.19±0.12	1.69±0.19	14.58±0.46[b]
Ⅱ	87.27±0.78[ab]	77.17±0.63[ab]	65.00±0.70[ab]	1.14±0.13	1.77±0.26	15.33±0.43[ab]
Ⅲ	88.29±0.56[a]	78.66±1.53[a]	66.43±0.72[a]	1.01±0.16	1.87±0.21	16.14±0.74[a]
Ⅳ	87.68±1.68[a]	77.92±1.35[a]	65.09±1.57[ab]	1.10±0.09	1.63±0.09	15.98±0.55[a]
Ⅴ	87.30±0.64[ab]	77.27±0.91[ab]	64.32±0.22[ab]	1.00±0.12	1.58±0.07	15.34±1.08[ab]

Ⅵ	86.49±1.16[ab]	76.83±0.70[ab]	63.38±1.01[b]	1.15±0.13	1.70±0.25	15.59±0.50[ab]
P 值 *P*-value	0.079	0.065	0.023	0.398	0.562	0.136

2.3　饲粮铁添加水平对鹅造血功能的影响

由表 4 可知，1~4 周龄，III、IV、V 和VI组血红蛋白浓度显著或极显著高于对照组(P<0.05 或 P<0.01)；III、IV、V 和VI组红细胞数显著高于对照组(P<0.05)；IV、V 和VI组红细胞压积显著或极显著高于对照组(P<0.05 或 P<0.01)；III组平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量显著高于对照组(P<0.05)。

以上结果表明，铁添加组血液中血红蛋白浓度、红细胞数、红细胞压积、平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量均优于对照组。饲粮中添加铁水平为80 mg/kg时，显著提高鹅的平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量；超过80 mg/kg时，显著提高鹅血液的红细胞数和血红蛋白浓度；超过120 mg/kg时，显著提高红细胞压积。这说明饲粮中不同铁添加水平对鹅造血功能有显著影响。

表 4　铁对 1~4 周龄鹅造血功能的影响

Table 4　Effects of Fe on hematopoietic function of geese aged from 1 to 4 weeks

组别 Groups	血红蛋白 HGB/（g/L）	红细胞数 RBC/(×10^{12}/L)	红细胞压积 HCT/%	平均红细胞体积 MCV/fL	平均红细胞血红蛋白含量 MCH/pg
Ⅰ	131.33±3.51[c]	1.51±0.02[b]	25.53±0.59[c]	154.83±1.33[b]	76.10±0.17[b]
Ⅱ	137.33±2.51[bc]	1.73±0.07[ab]	26.70±0.50[bc]	156.47±4.86[ab]	79.10±3.80[ab]
Ⅲ	142.67±4.93[ab]	1.81±0.09[a]	28.50±0.61[abc]	163.37±4.65[a]	83.20±2.74[a]
Ⅳ	148.67±8.14[a]	1.80±0.20[a]	29.47±1.42[ab]	157.83±2.57[ab]	81.43±3.26[ab]
Ⅴ	150.67±4.51[a]	1.86±0.10[a]	29.87±0.81[a]	160.90±7.19[ab]	81.70±3.98[ab]
Ⅵ	149.67±7.37[a]	1.83±0.26[a]	29.30±3.70[ab]	160.00±3.50[ab]	79.67±4.20[ab]
P 值 *P*-value	0.006	0.116	0.049	0.263	0.212

2.4　饲粮铁添加水平对鹅铁代谢的影响

由表 5 可知，1~4 周龄，V 和VI组总铁结合力显著低于对照组(P<0.05)；V 和VI组转铁蛋白饱和度显著高于对照组(P<0.05)；IV组血清尿素氮含量显著低于对照组(P<0.05)；IV组血清肌酐含量显著低于对照组(P<0.05)；III组血清尿酸含量显著高于对照组(P<0.05)；血清铁含量各组之间没有显著差异(P>0.05)，但有先升高后降低的趋势；不饱和铁结合力各组之间没有显著差异(P>0.05)，总体呈下降的趋势。

以上结果表明，铁添加组血清中总铁结合力、不饱和铁结合力及尿素氮、肌酐和尿酸含量均低于对照组，血清铁含量和转铁蛋白饱和度均高于对照组。饲粮中铁添加水平为80 mg/kg时，显著降低鹅血清中的尿酸含量；铁添加水平为120 mg/kg时，显著降低鹅血清中的尿酸氮和肌酐含量；铁添加水平超过160 mg/kg时，显著降低鹅血清总铁结合力，显著提高鹅血清转铁蛋白饱和度；各添加组之间没有显著差异。这说明饲粮中铁添加水平对鹅铁代谢

有显著影响。

表 5　铁对 1~4 周龄鹅铁代谢的影响

Table 5　Effects of Fe on Fe metabolism of geese aged from 1 to 4 weeks

组别 Groups	总铁结合力 TIBC/(μmol/L)	血清铁 SI/(μmol/L)	转铁蛋白饱和度 TS/%	不饱和铁结合力 UIBC/(μmol/L)	尿素氮 UN/(mmol/L)	肌酐 CR/(μmol/L)	尿酸 UA/(μmol/L)
Ⅰ	65.50±5.27[a]	25.83±10.18	45.00±6.25[b]	35.33±17.29	0.37±0.12[a]	38.47±0.64[a]	177.00±20.33[a]
Ⅱ	59.63±7.78[ab]	30.50±1.80	55.67±8.39[ab]	22.90±17.71	0.23±0.02[ab]	35.80±1.90[ab]	154.27±3.38[ab]
Ⅲ	56.33±9.47[ab]	36.73±9.92	54.67±2.08[ab]	25.83±9.36	0.22±0.12[ab]	36.70±1.31[ab]	144.33±18.43[b]
Ⅳ	58.07±3.41[ab]	36.40±1.93	59.67±8.14[ab]	21.66±5.22	0.20±0.05[b]	34.93±1.14[b]	151.57±2.67[ab]
Ⅴ	53.33±5.05[b]	35.93±8.39	60.67±7.57[a]	20.73±8.59	0.29±0.13[ab]	37.43±2.44[ab]	162.97±19.68[ab]
Ⅵ	53.87±4.07[b]	34.37±5.01	60.00±8.72[a]	22.83±6.16	0.28±0.07[ab]	37.40±2.88[ab]	170.87±19.55[ab]
P 值 *P*-value	0.245	0.410	0.151	0.684	0.293	0.306	0.190

3　讨　论

3.1　饲粮铁添加水平对鹅生长性能的影响

铁作为动物的必需矿物元素之一，在维持动物正常的生长、代谢、繁殖等方面发挥着重要的作用。动物体内铁的含量直接影响磷的含量，进而影响细胞中 DNA 的合成；同时通过体内含铁酶调控细胞中线粒体和微粒体，影响蛋白质的合成。当动物缺铁时易对红细胞的体积、形状和结构上造成损伤，导致缺铁性贫血症，从而影响动物的生长发育；机体摄入过量的铁时可导致体内氧自由基的产生，氧化蛋白质和 DNA，毒害造血组织细胞，严重时能引起再障性贫血[7-10]。Vahl 等[11]在 1~39 日龄海佩科肉鸡的玉米-豆粕型饲粮中添加 0、20、60 mg/kg 的硫酸亚铁（$FeSO_4$），发现肉鸡的增重随着铁的添加量的提高而增加。林映才等[12]在生长猪的基础饲粮中添加 0、150、150、350 g/t 的复方富力铁，能显著提高生长猪的平均日增重，显著降低料重比。本试验结果表明，在基础饲粮中添加铁能增加五龙鹅的体重、平均日增重，降低料重比；饲粮铁添加水平为 99.56 mg/kg 时体重最大，添加水平为 116.91 mg/kg 时料重比最佳。

3.2　饲粮铁添加水平对鹅屠宰性能的影响

屠宰性能反映出家禽的产肉性能，因此是其生长性能和屠宰加工效益的重要依据之一。王彦文等[13]报道，肉仔鸡活体重会影响屠宰肉量，当给肉仔鸡饲粮中补充适宜的铁，肉仔鸡的生长速度就会增加，屠宰性能也会相应的增加。本试验结果表明，1~4周龄五龙鹅的屠宰率、半净膛率、全净膛率都随着饲粮铁添加水平的增加而呈先增加后降低的趋势。饲粮中添加铁水平为80~120 mg/kg时，能显著提高鹅的屠宰率、半净膛率和腿肌率，而对腹脂率和胸肌率没有显著影响。

3.3　饲粮铁添加水平对鹅造血功能的影响

动物血液、血清生化指标的改变通常预示着动物生理机能发生改变，血液中的任何有形

成分发生病理变化都会影响全身的组织器官，进而使各种生理机能发生改变。血液中红细胞数、血红蛋白浓度和红细胞压积是反映动物机体铁代谢状况和营养状况的重要指标[14,3]。本试验结果表明，在基础饲粮中添加铁能增加五龙鹅血液中血红蛋白浓度、红细胞数、红细胞压积、平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量；铁添加水平为80 mg/kg时，能显著提高鹅的平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量；铁添加水平为120~200 mg/kg时，能显著提高鹅的红细胞压积；铁添加水平为80~200 mg/kg时，能显著提高鹅血液的红细胞数和血红蛋白浓度；但是各添加组之间没有显著差异。原因可能是铁的添加不仅能直接促进血红蛋白和红细胞合成，还能通过改善肾脏的功能合成促红细胞生成素间接促进红细胞的合成，提高鹅的造血功能。这表明铁与鹅的造血功能密切相关，饲粮中过多添加铁无无生物学意义；并显示鹅造血功能指标不能敏感的反映出鹅铁的营养需要水平。

3.4　饲粮铁添加水平对鹅机体铁代谢功能的影响

血液中血清铁含量和血清铁蛋白含量是反映机体铁代谢状况、生长发育状况和新陈代谢状况的重要指标[15-16]。血清总铁结合力是指能与100 mL血清中全部转铁蛋白结合的最大铁量。血清铁含量可以确定动物体铁的营养状态，能够较真实地反映肝脏及体内的铁总量，血清铁不足时会引起血清铁传递蛋白的饱和度过低，导致造血组织铁的供应不足和贫血症状的产生[17-18]。本试验结果表明，在基础饲粮中添加铁能降低五龙鹅血清中总铁结合力、不饱和铁结合力，升高血清铁和转铁蛋白饱和度。当饲粮中铁添加水平为160~200 mg/kg时，均能显著降低鹅血清生化指标中的总铁结合力，同时能显著提高鹅血清生化指标中的转铁蛋白饱和度，各添加组之间没有显著差异；这表明饲粮中不同铁添加水平与鹅机体铁代谢密切相关。

血液中的非蛋白氮包括尿素氮、肌酐和尿酸等，分别为蛋白质、嘌呤和肌酸代谢的终末产物，均通过肾脏从尿中排出，直接反映肾脏的功能[19-20]。嘌呤是存在动物机体内的一种物质，主要以嘌呤核苷酸的形式存在，在作为能量供应、代谢调节及组成辅酶等方面起着十分重要的作用。如果机体未能将嘌呤代谢并从肾脏排出，这些物质会最终形成尿酸，并以结晶体积存体内，导致肾功能衰竭。在临床医学上发现，口服补铁可以有效地改善肾脏功能[21]。本试验结果表明，饲粮中添加铁能降低五龙鹅血清中尿素氮、肌酐和尿酸含量。当饲粮铁添加水平为120 mg/kg时，能显著降低鹅血清中的尿酸氮和肌酐含量；饲粮中添加铁水平为80 mg/kg时，能显著降低鹅血清中的尿酸，各添加组之间没有显著差异；这表明饲粮中添加适宜铁能改善鹅的肾脏功能，间接能够促进蛋白质和嘌呤的代谢。

血清铁不足时会引起血清铁传递蛋白的饱和度过低，导致造血组织铁的供应不足和贫血症状的产生，而贫血是肾功能衰竭的重要并发症。本文中血清铁的变化趋势与尿素氮、肌酐和尿酸含量的变化趋势一致。表明铁代谢与肾脏功能之间有密切关系，此结果与Meara等[22]的研究一致。

综上所述，由于饲粮中铁含量比较丰富，基本能够满足鹅维持营养的需要，对铁的敏感性也较低，因此，饲料中不添加铁也不会造成铁缺乏症。生产制作饲料添加剂时，均忽略基

础饲粮铁的含量，把营养需要量作为添加量，这也是国外对鹅的铁需要量差异比较大的主要原因。本试验表明，在饲粮铁含量的基础上适当添加铁，生产性能、屠宰性能和机体铁代谢得到明显改善，并且鹅对铁营养需要量的适宜范围比其他微量元素（如硒等）要宽很多。为此，全面考虑维持营养需要量与最佳生产性能需要量，寻找添加量的经济性和最佳生产性能的平衡点，对于满足鹅不同生理阶段营养需要量、充分发挥最佳遗传潜力和取得最佳经济效益具有重要意义。

4 结 论

①饲粮中添加适宜水平铁显著提高了五龙鹅的体重、平均日增重，降低料重比；显著提高鹅的屠宰率、半净膛率和腿肌率。

②饲粮中添加适宜水平铁显著提高了鹅的平均红细胞体积和平均红细胞血红蛋白含量，显著提高鹅的红细胞压积，显著提高鹅血液的红细胞数和血红蛋白浓度。

③饲粮中适宜铁添加水平显著降低了鹅血清总铁结合力，显著提高了血清转铁蛋白饱和度，显著降低血清尿酸氮和肌酐含量，显著降低血清尿酸含量（$P<0.05$）。

④以最佳生长性能为目标，建议 1~4 周龄五龙鹅饲粮中铁的适宜添加水平为 99.56~116.91 mg/kg。

参考文献:

[1] WANG W,DI X M,D'AGOSTINO R B,Jr,et al.Excess capacity of the iron regulatory protein system[J].Journal of Biological Chemistry,2007,282(34):24650–24659.
[2] THEIL E C.Ferritin:structure,gene regulation,and cellular function in animals,plants,and microorganisms[J].Annual Review of Biochemistry,1987,56(1):289–315.
[3] 陈凤芹,计峰,程茂基,等.不同铁源对断奶仔猪生长性能、免疫功能及铁营养状况的影响[J].中国畜牧兽医,2008,35(7):11–14.
[4] DU F,QIAN Z M,LUO Q Q,et al.Hepcidin suppresses brain iron accumulation by downregulating iron transport proteins in iron-overloaded rats[J].Molecular Neurobiology,2015,52(1):101–114.
[5] ZHENG M Z,DU H J,NI W,et al.Iron-induced necrotic brain cell death in rats with different aerobic capacity[J].Translational Stroke Research,2015,6(3):215–223.
[6] 王宝维.中国鹅业[M].济南:山东科学技术出版社,2009:323–329.
[7] 李晓丽,何万领,吕林,等.动物肠道铁吸收、转运及其调节的分子机制[J].中国畜牧杂志,2013,49(7):83–87.
[8] MCCORD J M.Effects of positive iron status at a cellular level[J].Nutrition Reviews,1996,54(3):85–88.
[9] GRAHAM R M,CHUA A C G,HERBISON C E,et al.Liver iron transport[J].World Journal of Gastroenterology,2007,13(35):4725–4736.

[10] TORTI F M,TORTI S V.Regulation of ferritin genes and protein[J].Blood,2002,99(10):3504–3516.
[11] VAHL H A,VAN T, KLOOSTERB A T.Dietary iron and broiler performance[J].Dietary Iron and Broiler Performance,1987,28(4):567–576.
[12] 林映才,郑黎,蒋宗勇,等.复方富力铁对生长猪的生产性能、肤色和部分血液指标的影响[J].养猪,2001(2):26–27.
[13] 王彦文,宋志琪.不同日粮配方对肉用仔鸡生产性能和胴体品质的影响[J].中国饲料,1995,9(8):11–14.
[14] 栾新红,王玉琳,宁志利,等.玉米蛋白多肽对昌图豁鹅血液生理生化指标的影响[J].动物营养学报,2010,22(3):702–708.
[15] 康波,杨焕民,刘胜军,等.东北白鹅和籽鹅血液生化指标[J].中国兽医学报,2006,26(6):649–652.
[16] 温靖,顾为望,杨海英.SPF 级新西兰兔血液生理生化指标的测定[J].动物医学进展,2005,26(1):81–83.
[17] 李清晓,李忠平.铁元素的营养作用及在动物生产上的应用[J].饲料博览,2004(4):4–6.
[18] 苏传福,罗莉,文华,等.日粮铁对草鱼生长、营养成分和部分血液指标的影响[J].淡水渔业,2007,37(1):48–52.
[19] SCOTT M L,NESHEIM M C,YOUNG R J.Nutrition of the chicken[M].3rd ed.New York:Scott and Associates,1982.
[20] MILES R D,FEATHERSTON W R.Uric acid excretion by the chick as an indicator of dietary protein quality[J].Poultry Science,1976,55(1):98–102.
[21] 毕康宁,顾勇,陈文,等.静脉注射和口服铁剂治疗肾性贫血的成本效果分析[J].中华肾脏病杂志,2006,22(10):596–600.
[22] MEARA J,BHOWMICK B K,HOBSON P.Accuracy of diagnosis in patients with presumed Parkinson's disease[J].Age and Ageing,1999,28(2):99–102.

Effects of Iron on Performance, Hematopoietic Function and Iron Metabolism of *Wulong* Geese Aged from 1 to 4 Weeks

WANG Baowei MA Chuan Xing GE Wenhua ZHANG Ming' ai KONG Min ZHANG Xiao SUI Li
(Nutrition and Feed Laboratory of China Agriculture Research System, Institute of High Quality Waterfowl, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary iron supplemental level on performance, hematopoietic function and iron metabolism of *Wulong* geese aged from 1 to 4 Weeks, and to find the appropriate supplemental level of the iron of geese. A total of 360

one-day-old *Wulong* geese were randomly divided into 6 groups with 6 replicates per group and 10 geese per replicate. Geese in the group Ⅰ (control group) were fed a basal diet, and geese in the experimental groups (groups Ⅱ to Ⅵ) were fed the basal diet supplemented with 40, 80, 120, 160 and 200 mg/kg iron, respectively. The experiment lasted for 4 weeks. The results showed as follows, compared with the control group: 1) dietary supplemented with 80 to 120 mg/kg iron significantly increased the body weight and average daily gain （P<0.05）, and significantly decreased the ratio of feed to gain （P<0.05）. 2) Dietary supplemented with 80 to 120 mg/kg iron significantly increased the dressed percentage, percentage of half-eviscerated yield and percentage of leg muscle rate of geese (P<0.05). 3) Dietary supplemented with 80 mg/kg iron significantly increased mean corpuscular volume and mean erythrocyte hemoglobin content in blood of geese （P<0.05）, dietary supplemented with 80 to 200 mg/kg iron significantly increased red cell counts and hemoglobin concentration in blood of geese（P<0.05), dietary supplemented with 120 to 200 mg/kg iron significantly increased hematocrit in blood of geese （P<0.05）. 4) Dietary supplemented with 160 to 200 mg/kg iron significantly decreased total iron binding capacity in serum of geese （P<0.05）, and significantly increased transferrin saturation in serum of geese （P<0.05）; dietary supplemented with 120 mg/kg iron significantly decreased the content of uric nitrogen and creatinine in serum of geese （P<0.05）, dietary supplemented with 80 mg/kg iron significantly decreased the serum uric acid content of geese （P<0.05）. In conclusion, with the best growth performance as the target, the dietary appropriate iron supplemental level of *Wulong* geese aged from 1 to 4 weeks is 99.56 to 116.91 mg/kg..

Key words: iron; geese; performance; hematopoietic function; iron metabolism

---

Author, WANG Baowei, professor, E-mail: wangbw@qau.edu.cn (责任编辑　武海龙)